不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫生长及营养物质表观消化率、沉积率和血浆生化指标的影响

张晓清[1]　徐树德[2]　李小勤[1]　冷向军[1,3,4,5*]

(1.上海海洋大学水产与生命学院，上海 201306；2.广东溢多利生物科技股份有限公司，珠海 519060；3.上海海洋大学农业部淡水水产种质资源重点实验室，上海 201306；4.上海市水产养殖工程技术研究中心，上海 201306；5.上海高校知识服务平台，上海海洋大学水产动物遗传育种中心(ZF1206)，上海 201306)

摘　要：本试验研究了在不同磷酸二氢钙含量饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫生长及营养物质表观消化率、沉积率和血浆生化指标的影响。配制磷酸二氢钙含量为 1.5%的正对照饲料和磷酸二氢钙含量分别为 1.0%、0.5%的负对照饲料，在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中分别添加 400、800 IU/kg 中性植酸酶，在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶，共配制成 6 种试验饲料，饲喂初始体重为(39.0±3.0) g 的异育银鲫 10 周。每种饲料设 3 个重复，每个重复放养 15 尾鱼。结果表明：在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量增加，鱼体增重率和干物质、磷表观消化率，蛋白质和灰分沉积率，全鱼磷含量均显著增加(P<0.05)，血浆碱性磷酸酶(ALP)活性显著降低(P<0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶显著提高了增重率(P<0.05)，同时显著提高了蛋白质、灰分和磷沉积率，干物质和磷表观消化率，全鱼磷含量、椎骨钙含量及血浆甘油三酯(TG)含量，显著降低了血浆 ALP 活性(P<0.05)；在含 0.5%、1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶均显著提高磷表观消化率和磷沉积率(P<0.05)；在不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对血浆总蛋白(TP)、白蛋白(ALB)、钙、磷含量无显著影响(P>0.05)。以上结果表明，在磷酸二氢钙含量为 1.0%的饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶可促进异育银鲫的生长，提高干物质和磷的表观消化率，800 IU/kg 中性植酸酶在底物充足条件下可代替 0.5%磷酸二氢钙的添加。

关键词：中性植酸酶；异育银鲫；磷消化率；生长

中图分类号：S963　　文献标识码：A　　文章编号：

磷是鱼体所必需的矿物元素，饲料中缺乏磷会影响机体中间代谢，导致生长和饲料转化

收稿日期：2015-11-12

作者简介：张晓清(1990-)，女，浙江嘉兴人，硕士研究生，水产养殖专业。E-mail：1214385506@qq.com

*通信作者：冷向军，教授，博士生导师。E-mail： xjleng@shou.edu.cn

率降低、骨骼畸形、脂肪堆积[1-2]。由于磷在水中的含量较少，所以必须由饲料中提供充足的磷。尽管植物性原料中含有丰富的磷，但大多以植酸磷的形式存在，难以为动物所利用[3-5]，因此通常的方法是添加无机磷酸盐来满足水产动物对磷的需求。但这不但增加饲料成本，更重要的是大量未被利用的植酸磷和未消化的磷酸盐排泄进入水体，对环境造成严重污染。

植酸，即六磷酸肌醇，是植物中磷的主要贮存形式，具有极强的螯合能力，能与钙、镁、钾、钠、锌、铁、铜、锰等物质形成不溶性的盐类络合蛋白质，抑制消化酶活性。研究表明，植酸可降低饲料中矿物质的利用率[6-7]，降低蛋白质的消化利用[8]。

植酸酶能够将植酸(盐)降解为肌醇和无机磷，同时释放出与植酸(盐)结合的其他营养物质，提高营养物质的利用率，并减少无机磷酸盐的添加量。植酸酶有多个最适 pH 范围，根据最适 pH 的不同，有中性植酸酶和酸性植酸酶之分。酸性植酸酶的适宜 pH 范围一般为 2.0～7.0，中性植酸酶的适宜 pH 在 7.0 左右。近年来，酸性植酸酶已在鸡[9-10]、鸭[11]、猪[12-14]等畜禽动物上进行了较为广泛的研究和应用，在水产动物的研究已见于斑点叉尾鮰(*Ictalurus puuctatus*)[15]、牙鲆(*Paralichthys olivaceus*)[16]、草鱼(*Ctenopharyngodon idellus*)[17]等。中性植酸酶主要应用于无胃、前肠呈中性的淡水鲤科鱼类饲料中。异育银鲫(*Carassius auratus gibelio*)是以天然雌核发育的方正银鲫为母本，以兴国红鲤为父本，经人工授精繁育的子代，具有生长快、抗逆性强等特点，已成为我国鲫鱼养殖的主要品种。本试验主要研究在饲料中添加不同水平中性植酸酶替代磷酸二氢钙对异育银鲫生长、体成分及营养物质消化率、沉积率和血浆生化指标的影响，为中性植酸酶在水产饲料中的合理应用提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

耐高温中性植酸酶由广东溢多利生物科技股份有限公司提供，适宜 pH 范围为 4.5～8.0)(无胃鱼消化道中 pH 为 6.5～8.4)，活性为 2 000 IU/g。

1.1 试验设计

共配制 6 种试验饲料，分别为磷酸二氢钙含量为 1.5%的正对照饲料和磷酸二氢钙含量分别为 1.0%、0.5%的负对照饲料，在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中分别添加 400、800 IU/kg 中性植酸酶以及在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶的试验饲料。中性植酸酶的添加量是在参考文献[18]的基础上适当降低。饲料中添加 0.05%的三氧化二钇(Y_2O_3)为

内源指示剂，用于营养物质消化率的测定。各原料过 40 目筛，逐级混匀，用单螺杆挤压机(SLP-45，中国水产科学研究院渔业机械仪器研究所研制)制成直径为 2 mm 的沉性颗粒饲料[制粒温度（85±5） ℃]，饲料于通风阴凉处晾干，置于 4 ℃冰箱中保存备用。试验饲料组成及营养水平见表 1。

表 1 试验饲料组成及营养水平(风干基础)

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (air-dry basis) %

项目 Items	饲料 Diets					
	1.5%MCP[5)]	1.0%MCP	1.0%MCP+400 IU/kg P	1.0%MCP+800 IU/kg P	0.5%MCP	0.5%MCP+400 IU/kg P
原料 Ingredients[1)]						
鱼粉 Fish meal	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
豆粕 Soybean meal	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00	16.00
菜籽粕 Rapeseed meal	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00	19.00
棉籽粕 Cottonseed meal	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
次粉 Wheat middlings	22.21	22.71	22.69	22.67	23.21	23.19
麸皮 Wheat bran	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00	11.00
米糠 Rice bran	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
鱼油 Fish oil	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
豆油 Soybean oil	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
维生素预混料 Vitamin premix[2)]	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24	0.24
矿物质预混料 Mineral premix[3)]	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
氯化胆碱 Choline chloride (50%)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
磷酸二氢钙 $Ca(H_2PO_4)_2$	1.50	1.00	1.00	1.00	0.50	0.50
植酸酶 Phytase		0.00	0.02	0.04		0.02
三氧化二钇 Y_2O_3	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[4)]						
粗蛋白质 CP	32.72	32.87	32.88	33.05	32.67	32.84
粗脂肪 EE	6.58	6.15	6.47	6.40	6.41	6.55
粗灰分 Ash	8.22	7.86	7.96	7.89	7.55	7.54
总磷 TP	1.63	1.42	1.43	1.37	1.25	1.23
非植酸磷 NPP	1.12	0.91	0.92	0.86	0.74	0.72
植酸磷 PP	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51	0.51

钙 Ca	1.54	1.42	1.49	1.50	1.39	1.41

[1)] 配方中的饲料原料购自于上海农好饲料有限公司，其中鱼粉(秘鲁)、豆粕、菜籽粕、棉籽粕的粗蛋白质含量分别为 67.5%、47.1%、37.0 %、50.2 %。The ingredients were purchased from *Shanghai Nonghao* Feed Co., Ltd., and the crude protein content of fish meal (Peru), soybean meal, rapeseed meal and cottonseed meal were 67.5%, 47.1%, 37.0% and 50%, respectively.

[2)] 维生素预混料为每千克饲料提供 The vitamin premix supplied the following per kg of diets：VA 6 000 IU，VB_1 15 mg，VB_2 15 mg，VB_3 30 mg，VB_5 35 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.03 mg，VC 200 mg，VD_3 2 000 IU，VE 50 mg，VK_3 5 mg，肌醇 inositol 200 mg，叶酸 folic acid 3 mg，生物素 biotin 0.2 mg。

[3)] 矿物质预混料为每千克饲料提供 The mineral premix supplied the followings per kg of diets：$Ca(IO_3)_2$ 0.4 mg，$CoCl_2$•$6H_2O$ 0.1 mg，$CuSO_4$•$5H_2O$ 4 mg，$FeSO_4$•H_2O 150 mg，$ZnSO_4$•H_2O 80 mg，$MnSO_4$•H_2O 20 mg，Na_2SeO_3•$5H_2O$ 0.1 mg，$MgSO_4$•$7H_2O$ 100 mg，沸石粉 zeolite powder 3.539 g。

[4)] 非植酸磷和植酸磷为计算值，其余为测定值。NPP and PP were calculated values, while the others were measured values.

[5)] MCP 为磷酸二氢钙，P 为中性植酸酶。MCP indicated monocalcium phosphate, and P indicated neutral phytase.

1.2 试验用鱼及饲养管理

试验用异育银鲫购自浙江金华异育银鲫育苗场，正式试验前，用含 0.5%磷酸二氢钙饲料饲喂异育银鲫 2 周，使其逐渐适应试验饲料。选出 270 尾体格健壮、体重[(39.0±3.0) g]均匀的异育银鲫，随机分为 6 个组，每组 3 个重复(缸)，每个重复放养 15 尾鱼。采用室内充气循环水养殖系统，每个试验缸大小为 0.60 m×0.50 m×0.50 m(135 L)。每日吸污，保持水质清新，同时更换 1/10 水量；试验期间每天投喂 3 次(08:30、11:30 和 16:30)，每次投喂时间约 20 min，投饲率为 2.5%～3.0%，根据摄食情况作相应调整，以达到表观饱食并无剩余残饵，各缸保持基本一致的投饲量。饲养期间水温(26.0±2.0) ℃，pH 6.5～7.3；溶解氧浓度>4 mg/L。

1.3 测定指标和方法

1.3.1 生长指标和形体指标

养殖试验结束后，鱼体饥饿 24 h，统计每缸鱼尾数并称重，计算增重率(weight gain rate,WGR)、饲料系数(feed conversion ratio,FCR)、存活率(survival rate,SR)。每缸取 3 尾鱼，

测量其体长、体重，解剖取内脏团、肝胰脏并称重，计算肝体比(hepato-somatic index,HSI)、脏体比(viscero-somatic index,VSI)、肥满度(condition factor,CF)。

增重率(%)=100×[末重(g)-初重(g)]/初重(g)；

饲料系数=摄食量(g)/体增重(g)；

成活率(%)=100×末尾数/初尾数；

肝体比(%)=100×肝脏重(g)/体重(g)；

脏体比(%)=100×内脏重(g)/体重(g)；

肥满度(%)=100×体重(g)/体长(cm)^3。

1.3.2　饲料、全鱼、椎骨组成及营养物质沉积率

在养殖试验开始前，取 6 尾鱼进行初始鱼的全鱼常规营养成分分析。养殖试验结束后，每缸取 3 尾鱼(每组 9 尾)，置于-20 ℃冰箱中冻存，用于全鱼常规营养成分分析。将剔除内脏及两侧肌肉的鱼体微波煮熟 5 min，去掉头骨，将脊椎骨剥离干净，于 105 ℃烘干后在-20 ℃保存，用于测定椎骨钙、磷含量。饲料、全鱼椎骨营养成分的测定方法如下：水分含量采用 105 ℃烘干法测定；粗蛋白质含量采用凯氏定氮法(2300 全自动分析仪，瑞士)测定；粗脂肪含量采用索氏提取法测定；粗灰分含量采用 550 ℃灼烧法(SXL-1008 马弗炉，上海精宏实验设备有限公司)；钙、磷含量的测定分别采用钙甲基百里香酚蓝和磷钼酸试剂盒测定，试剂盒购于南京建成生物工程研究所。在上述数据的基础上，计算蛋白质、脂肪、灰分和磷的沉积率。

蛋白质沉积率(%)=100×(W_t×W_{tp}-W_0×W_{0p})/(W_f×W_{fp})；

脂肪沉积率(%)=100×(W_t×W_{tl}-W_0×W_{0l})/(W_f×W_{fl})；

灰分沉积率(%)=100×(W_t×W_{ta}-W_0×W_{0a})/(W_f×W_{fa})；

磷沉积率(%)=100×(W_t×W_{tph}-W_0×W_{0ph})/(W_f×W_{fph})。

式中:W_0 为初重(g)；W_t 为末重(g)；W_{tp} 为末全鱼粗蛋白质含量；W_{tl} 为末全鱼粗脂肪含量；W_{ta} 为末全鱼粗灰分含量；W_{tph} 为末鱼磷含量；W_{0p} 为初全鱼粗蛋白质含量；W_{0l} 为初全鱼粗脂肪含量；W_{0a} 为初全鱼粗灰分含量；W_{0ph} 为初全鱼磷含量；W_f 为饲料投喂量；W_{fp} 为饲料粗蛋白质含量；W_{fl} 为饲料粗脂肪含量；W_{fa} 为饲料粗灰分含量；W_{fph} 为饲料磷含量。

1.3.3　营养物质消化率

在养殖试验的后 2 周，采用虹吸法收集粪便(每天于投饲后 1 h 后开始收集粪便，1 d 2 次，取包膜完整的粪便于 60 ℃烘干，-20 ℃保存待测)。测定指标包括饲料、粪便中的干物质、粗蛋白质、磷、Y_2O_3 含量，计算干物质、蛋白质和磷的表观消化率。钇元素采用等离子体发射光谱(ICP)法测定，其他指标的测定方法同 1.3.2。

干物质表观消化率(%)=100×(*a*-*b*)/*a*；

蛋白质表观消化率(%)=100×(*a*×*c*-*b*×*d*)/(*a*×*c*)；

磷表观消化率(%)=100×(*a*×*e*-*b*×*f*)/(*a*×*e*)。

式中：*a* 为粪便中指示剂的含量；*b* 为饲料中指示剂的含量；*c* 为饲料中粗蛋白质的含量；*d* 为粪便中粗蛋白质的含量；*e* 为饲料中磷的含量；*f* 为粪便中磷的含量。

1.3.4　血浆生化指标

养殖试验结束后，鱼体饥饿 24 h 后每缸取 5 尾鱼，用经肝素钠试剂润洗后的注射器进行尾静脉采血，4 ℃下 3 000 r/min 离心 10 min，取血浆于-80 ℃冷冻待测。血浆生化指标通过全自动生化分析仪(迈瑞 BS-200，深圳)测定，包括碱性磷酸酶（ALP）(AMP 缓冲液法)活性及甘油三酯(TG)(氧化酶法)、TP(总蛋白)(双缩脲法)、ALB(白蛋白)(溴甲酚绿法)、磷(磷钼酸法)、钙(偶氮胂法)含量。

1.4　数据统计与分析

试验结果以平均值±标准差表示，使用 SPSS 17.0 进行单因素方差分析(one-way ANOVA)，差异显著者用 Duncan 氏法进行多重比较，差异显著水平为 $P<0.05$。

2　结　果

2.1　生长性能和形体指标

由表 2 可知，在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，异育银鲫的增重率显著增加($P<0.05$)，饲料系数和肝体比、脏体比显著降低($P<0.05$)，肥满度无显著变化($P>0.05$)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，增重率提高了 9.2%($P>0.05$)，而添加 800 IU/kg 中性植酸酶后，增重率提高了 11.8%($P<0.05$)，达到与 1.5%磷酸二氢钙组基本一致的水平，且有降低饲料系数的趋势($P<0.10$)；在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，增重率有提高的趋势($P<0.10$)，并达到与 1.0%磷酸二氢钙组基本一致的水平。试验结束时，各组存活率均为 100%。

表 2 不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫生长和形体指标的影响

Table 2 Effects of supplementation of neutral phytase in diets with various monocalcium phosphate contents on growth and body indices of allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)

项目 Items	组别 Groups					
	1.5%MCP	1.0%MCP	1.0%MCP+ 400 IU/kg P	1.0%MCP+ 800 IU/kg P	0.5%MCP	0.5%MCP+ 400 IU/kg P
初重 IBW/g	39.1±0.2	39.1±0.3	38.9±0.1	39.1±0.3	38.9±0.2	38.9±0.2
末重 FBW/g	92.0±1.9^{a}	87.0±3.3^{bc}	89.3±0.0^{abc}	91.4±1.9^{ab}	81.1±0.8^{d}	84.9±2.6^{cd}
增重率 WGR/%	136.0±6.1^{a}	118.7±7.7^{bc}	129.6±0.4^{ab}	132.7±4.4^{a}	108.5±2.8^{c}	118.7±7.4^{bc}
饲料系数 FCR	1.98 ±0.02^{a}	2.09±0.03^{abc}	2.00±0.01^{ab}	2.01±0.01^{ab}	2.23±0.11^{c}	2.15±0.13^{bc}
肝体比 HSI/%	4.7±0.3^{a}	6.0±0.5^{cd}	5.5±0.6^{bc}	4.8±0.8^{ab}	6.3±0.8^{d}	5.9±0.4^{cd}
脏体比 VSI/%	8.3±0.4^{ab}	8.9±0.9^{bc}	8.7±0.7^{abc}	8.0±1.0^{a}	9.3±0.3^{c}	8.8±0.3^{bc}
肥满度 CF/%	3.1±0.2	3.2±0.1	3.2±0.2	3.1±0.1	3.1±0.2	3.1±0.2

同行数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(P>0.05)，不同字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with no or the same letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2 体成分及营养物质沉积率

由表 3 可知，全鱼水分、粗蛋白质、粗灰分含量在各组间无显著差异(P>0.05)；在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，全鱼粗脂肪含量显著降低(P<0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶后，全鱼粗脂肪含量显著降低(P<0.05)；在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，全鱼粗脂肪含量有降低的趋势(P<0.10)。

在营养物质沉积率方面，在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，蛋白质和灰分沉积率显著升高(P<0.05)，脂肪沉积率无显著变化(P>0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶后，蛋白质和灰分沉积率显著升高(P<0.05)，并达到与 1.5%磷酸二氢钙组基本一致的水平。在不添加中性植酸酶的情况下，1.5%

磷酸二氢钙组的磷沉积率显著高于 0.5%和 1.0%磷酸二氢钙组(P<0.05)，但 0.5%、1.0%磷酸二氢钙组间无显著差异(P>0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 和 800 IU/kg 中性植酸酶均显著提高了磷沉积率(P<0.05)，在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶也显著提高了磷沉积率(P<0.05)。

表 3　不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫体成分及营养物质沉积率的影响

Table 3　Effects of supplementation of neutral phytase in diets with various monocalcium phosphate contents on body composition and nutrient deposition rates of allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)　　%

项目 Items	组别 Groups					
	1.5%MCP	1.0%MCP	1.0%MCP+ 400 IU/kg P	1.0%MCP+ 800 IU/kg P	0.5%MCP	0.5%MCP+ 400 IU/kg P
水分 Moisture	69.0±0.7	68.9±0.4	69.0±0.3	69.0±0.5	68.9±0.4	68.9±0.2
粗灰分 Ash	4.59±0.2	4.59±0.2	4.56±0.4	4.59±0.3	4.54±0.6	4.59±0.4
粗蛋白质 CP	17.48±2.6	17.44±2.6	17.47±1.6	17.51±0.6	17.31±2.0	17.45±2.7
粗脂肪 EE	5.61±0.34^{a}	6.91±0.84^{bc}	6.38±0.45^{b}	5.67±0.31^{a}	7.43±0.53^{c}	6.96±0.42^{bc}
磷 P	2.57±0.5^{ab}	2.20±0.4^{b}	2.31±0.28^{ab}	2.67±0.31^{a}	2.13±0.25^{b}	2.31±0.31^{ab}
脂肪沉积率 LDR	61.9±7.3	64.7±2.2	63.0±5.8	61.2±8.2	65.3±7.7	62.6±8
蛋白质沉积率 PDR	28.3±1.3^{a}	25.4±0.6^{cd}	26.9±1.4^{b}	28.1±0.9^{a}	24.5±0.7^{d}	25.9±0.9^{bc}
灰分沉积率 ADR	16.9±1.6^{a}	14.6±0.8^{bc}	15.8±1.3^{ab}	16.3±0.8^{a}	13.4±0.4^{c}	15.5±0.5^{ab}
磷沉积率 PhDR	27.4±0.2^{bc}	23.6±0.5^{d}	26.0±0.1^{c}	33.3±1.0^{a}	23.1±1.1^{d}	28.3±1.6^{b}

2.3　干物质、蛋白质和磷的表观消化率以及椎骨钙、磷、粗灰分含量

由表 4 可知，各组在蛋白质表观消化率上无显著差异(P>0.05)。在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，干物质和磷表观消化率显著增加(P<0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，磷表观消化率显著升高(P<0.05)，而添加 800 IU/kg 中性植酸酶后，干物质和磷表观消化率均显著升高(P<0.05)；在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，磷表观消化率显著升高(P<0.05)，干物质表

观消化率也有升高的趋势(*P*<0.10)。

在不添加中性植酸酶的情况下，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，椎骨钙、磷含量显著增加(*P*<0.05)，椎骨粗灰分含量无显著变化(*P*>0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶后，椎骨钙含量显著升高(*P*<0.05)，椎骨磷含量无显著变化(*P*>0.05)；在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶后，椎骨钙、磷含量在数值上均有所增加(*P*>0.05)。

表 4　不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫营养物质表观消化率及椎骨钙、磷、粗灰分含量的影响

Table 4　Effects of supplementation of neutral phytase in diets with various monocalcium phosphate contents on apparent digestibility of nutrients and contents of Ca, P and ash in vertebra of allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)　　%

项目 Items	组别 Groups					
	1.5%MCP	1.0%MCP	1.0%MCP+ 400 IU/kg P	1.0%MCP+ 800 IU/kg P	0.5%MCP	0.5%MCP+ 400 IU/kg P
表观消化率 Apparent digestibility						
干物质 DM	56.8±1.2^{a}	52.4±0.6^{bc}	55.2±0.43^{ab}	56.1±1.7^{a}	51.5±1.11^{c}	53.4±2.16^{abc}
蛋白质 Protein	84.4±1.0	83.7±1.4	84 .0±0.7	85.2±2.2	83.7±0.9	83.7±0.6
磷 P	58.7±3.8^{a}	52.9±2.8^{b}	58.4±3.0^{a}	61.2±0.9^{a}	43.1±1.0^{c}	51.0±0.1^{b}
含量 Content						
椎骨粗灰分 Vertebral ash	48.1±0.7	48.2±1.2	48.5±0.6	48.2±1.6	48.0±0.9	48.5±0.9
椎骨钙 Vertebral Ca	20.5±1.8^{ab}	18.2±1.0^{bc}	19.0±2.0^{bc}	22.8±0.1^{a}	17.2±1.7^{c}	18.6±1.1^{bc}
椎骨磷 Vertebral P	13.3±0.6^{a}	13.1±0.1^{a}	13.1±0.5^{a}	13.4±0.6^{a}	12.4±0.5^{b}	13.0±0.5^{ab}

2.4　血浆生化指标

由表 5 可知，各组在血浆 TP、ALB、钙、磷含量上均无显著差异(*P*>0.05)；在不添加中性植酸酶的情况下，随着磷酸二氢钙添加量的升高，血浆 ALP 活性显著降低(*P*<0.05)；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 和 800 IU/kg 中性植酸酶均显著降低了血浆 ALP 活性(*P*<0.05)；在含 0.5%磷酸二氢钙饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶也降低了血浆 ALP 活性

(P<0.05)。在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 和 800 IU/kg 中性植酸酶组血浆 TG 含量显著高于其他各组(P<0.05)。

表 5 不同含量磷酸二氢钙饲料中添加中性植酸酶对异育银鲫血浆生化指标的影响

Table 5 Effects of supplementation of neutral phytase in diets with various monocalcium phosphate contents on plasma biochemical indices of allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*)

项目 Items	组别 Groups					
	1.5%MCP	1.0%MCP	1.0%MCP+ 400 IU/kg P	1.0%MCP+ 800 IU/kg P	0.5%MCP	0.5%MCP+ 400 IU/kg P
总蛋白 TP/(g/L)	42.3±3.8	42.6±2.8	42.8±2.7	43.4±1.2	41.8±1.8	43.7±1.5
白蛋白 ALB/(g/L)	18.6±2.4	18.4±1.3	19.6±1.6	19.9±1.2	18.2±1.1	20.1±1.1
甘油三酯 TG/(mmol/L)	1.82±0.29[a]	1.79±0.23[a]	2.16±0.29[b]	2.20±0.27[b]	1.89±0.22[a]	1.84±0.21[a]
碱性磷酸酶 ALP/(U/L)	4.9±0.8[ab]	5.9±0.7[c]	5.1±0.7[ab]	4.7±0.8[a]	6.9±0.5[d]	5.6±0.6[bc]
磷 P/(mmol/L)	2.49±0.26	2.44±0.16	2.47±0.16	2.54±0.12	2.45±0.29	2.39±0.21
钙 Ca/(mmol/L)	2.64±0.14	2.62±0.09	2.70±0.14	2.75±0.15	2.63±0.08	2.67±0.11

3 讨 论

植酸的特殊结构与理化特性使其对大量矿物元素及一些蛋白活性物质具有很强的螯合作用。植酸酶是催化植酸及植酸盐水解成肌醇和磷酸的一类酶，同时释放出与植酸(盐)结合的其他营养物质，提高营养物质的利用率，提高动物的增重率，并减少饲料中无机磷酸盐的添加量，减少粪磷的排放。我国主养鲤科鱼类多属于无胃鱼，消化道 pH 多呈中性，中性植酸酶更适合无胃鱼。本研究中，在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶后增重率提高了 11.8%，同时干物质和磷的表观消化率显著提高，表明饲料中的中性植酸酶释放了植酸螯合的营养物质和磷，使得更多的营养物质和磷能够被利用[19]，满足了异育银鲫对磷的需求，提高了磷的消化率，促进了鱼体的生长。张璐等[20]发现，饲料中添加 200 mg/kg 酸性植酸酶使鲈鱼(*Lateolabra×japonicus* Cuvier)的增重率从 859.3%提高到 947.2%；类似报

道见于尼罗罗非鱼(*Oreochromis niloticus*)[21]、虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)[22]等。在花鲈(*Lateolabrax japonicus*)试验中，在磷酸二氢钙的添加量减少了 60%~100%的情况下，添加 1 000 和 1 500 FTU/kg 中性植酸酶使总磷消化率提高了 5.8%~18.9%，同时也显著提高了干物质的消化率[23]，与本试验结果基本一致；在黑鲷(*Acanthopagrus schlegelii*)饲料添加中性植酸酶对磷表观消化率也有显著性影响[18]，类似报道也见于建鲤(*Cyprinus carpio* var. Jian)[24]、暹罗鲶(*Pangasius pangasius*)[25]等。此外，Baruah 等[26]在南亚黑鲮(*Labeo rohita*)、Vandenberg 等[27]在虹鳟、Zhu 等[28-29]在黄颡鱼(*Pelteobagrus fulvidraco*)的研究中也发现饲料中添加酸性植酸酶显著提高了干物质消化率。本试验中，在 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400 和 800 IU/kg 中性植酸酶均显著提高了磷的沉积率，说明添加植酸酶提高了磷的利用率，进而促进鱼体生长。秦巍仑等[24]在建鲤上的研究也表明饲料中添加酸性植酸酶能够提高磷的沉积率，与本试验结果一致。本试验在含 1.0%、0.5%磷酸二氢钙的饲料中添加 400 IU/kg 中性植酸酶，使增重率分别提高了 9.2%和 9.4%，未达显著水平，表明植酸酶添加量可能不够，这可能与鱼类消化道短，食物在消化道停留的时间短，低剂量的植酸酶难以在短时间水解产生足量的无机磷有关。该结果与尼罗罗非鱼饲料中添加 500 IU/kg 酸性植酸酶对生长无显著影响，而添加 1 000 IU/kg 酸性植酸酶显著改善了生长的报道相一致[20]。此外，饲料中添加 500 IU/kg 酸性植酸酶对七星鲈鱼(*Lateolabrax japonicas*)[30]、斑点叉尾鮰[31]生长的影响也不显著。

饲料中的营养素尤其是蛋白质、脂肪等通常会对鱼类的形体指标产生影响[32-33]。牛纪锋等[34]报道，在大口黑鲈(*Micropterus salmoides*)饲料中添加酸性植酸酶能降低其肝体比，其原因可能是植酸酶降解植酸产生环已六醇，促进肝脏及其他组织中脂肪的新陈代谢，阻止了肝脏中脂肪的沉积，从而降低了肝体比。本试验中，在不添加中性植酸酶的情况下，随着磷酸二氢钙添加量的增加，异育银鲫的脏体比和肝体比显著降低；在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶，脏体比和肝体比显著降低。马恒甲等[17]在草鱼饲料中添加 1 000 IU/kg 酸性植酸酶后显著降低了脏体比、肝体比，与本试验结果一致。杨健等[35]报道，随饲料中磷酸二氢钙添加量的降低(从 3.0%降到 0.5%)，添加中性植酸酶对鲤鱼(*Cyprinus carpio*)的肥满度并无显著影响，本试验中也有类似结果。

当饲料中磷缺乏时，脂肪的氧化过程受到抑制，导致更多脂肪存积于体内[36]，当通过补充磷酸盐或添加植酸酶满足鱼体对磷的需求后，鱼体脂肪沉积量下降。本研究中，1.5%

磷酸二氢钙组的全鱼粗脂肪含量显著低于 0.5%磷酸二氢钙组，说明缺乏磷使得鱼体粗脂肪含量偏高；在大黄鱼(*Pseudosciaena crocea*)[37]饲料中添加酸性植酸酶和在草鱼[38]饲料中添加中性植酸酶以及本试验在含 1.0%磷酸二氢钙异育银鲫饲料中添加中性植酸酶后均观察到全鱼粗粗脂肪含量下降的现象。本试验还发现，饲料中添加植酸酶使得灰分沉积率显著增高，此结果与张璐等[37]研究结果一致，这可能与植酸酶能够打开植酸和矿物质之间的螯合键，提高了鱼体对矿物质(钙、磷等)的吸收和利用有关。研究发现，在饲料中添加 1 000 IU/kg 酸性植酸酶显著提高了尼罗罗非鱼椎骨磷含量[18]；植酸酶能促进骨骼矿化，改善鱼体成分也在暹罗鲶[25]、南亚野鲮(*Labeo rohita*)[39]中得到证实。本试验在 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶后显著提高了全鱼磷含量和椎骨钙含量，椎骨磷含量也有增加的趋势，这表明植酸酶在降解植酸释放无机磷的同时，也可以将原本螯合的蛋白质、矿物元素释放出来，促进了鱼体对营养物质的消化吸收，从而改善了鱼体体成分，促进了椎骨中矿物元素的沉积[40]。

ALP 又称正磷酸单酯磷酸水解酶，是反映骨骼代谢的重要指标。血浆 ALP 在水生动物的矿化作用和膜运输中起着非常重要的作用[41]。本试验中，随磷酸二氢钙添加量由 0.5%增加到 1.5%，异育银鲫血浆 ALP 活性显著降低，在 1.0%磷酸二氢钙饲料中，随着植酸酶添加量的增加，血浆 ALP 活性也显著降低。刘宏等[11]在肉鸭中的研究也有类似结果，并认为较高的血浆 ALP 活性与骨骼更新活跃有关，当饲粮中缺乏可利用磷时，成骨细胞活动增强，ALP 的活性较高，随着植酸酶的添加量的增加，饲粮可利用磷增加，骨磷周转变慢，从而使血浆 ALP 的活性降低。本试验中，在含 1.0%磷酸二氢钙饲料中添加 400、800 IU/kg 中性植酸酶均使血浆 TG 含量显著增加，表明鱼类的脂类代谢增强，鱼体脂肪沉积量的下降。血浆 TP、ALB 含量在机体免疫应答中起着重要作用，血浆 TP 含量是鱼体营养和健康状况的重要指标[42]。在本试验中，各组血浆 TP，ALB 含量均无显著差异，表明异育银鲫摄食低磷酸二氢钙的饲料 8 周尚不足以影响其代谢机能，同时，血浆钙、磷含量也无显著变化，这与在黄颡鱼[28-29]的试验中添加酸性植酸酶不影响血浆磷含量的报道一致。

4 结 论

综上所述，在磷酸二氢钙含量为 1.0%的饲料中添加 800 IU/kg 中性植酸酶可显著提高异育银鲫的增重率、蛋白质与磷的沉积率、干物质与磷的表观消化率，达到和磷酸二氢钙含量

为 1.5%的饲料基本一致的水平。

参考文献：

[1] SUGIURA S H,HARDY R W,ROBERTS R J.The pathology of phosphorus deficiency in fish-a review[J].Journal of Fish Diseases,2004,27(5):255–265.

[2] NRC.Nutrient requirements of fish and shrimp[S].Washington,D.C.:National Academies Press,2011.

[3] LIU S Y,BOLD R M,PLUMSTEAD P W,et al.Effects of 500 and 1000 FTU/kg phytase supplementation of maize-based diets with two tiers of nutrient specifications on performance of broiler chickens[J].Animal Feed Science and Technology,2015,207:159–167.

[4] 郭文文,杨维仁,郭宝林,等.不同磷水平和钙磷比饲粮添加植酸酶对妊娠母猪养分表观消化率的影响[J].动物营养学报,2015,27(3):893–901.

[5] 徐晓娜,王宝维,葛文华,等.植酸酶对鹅生长性能、养分表观利用率及排泄物指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(6):1315–1323.

[6] LII D M G,PHILLIPS H F.Dietary calcium,phytate and zinc interactions in channel catfish[J].Aquaculture,1989,79(1/2/3/4):259–266.

[7] SUGIURA S H,GABAUDAN J,DONG F M,et al.Dietary microbial phytase supplementation and the utilization of phosphorus,trace minerals and protein by rainbow trout [*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)] fed soybean meal-based diets[J].Aquaculture Research,2001,32(7):583–592.

[8] SPINELLI J,HOULE C R,WEKELL J C.The effect of phytates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri*) fed purified diets containing varying quantities of calcium and magnesium[J].Aquaculture,1983,30(1/2/3/4):71–83.

[9] 楼洪兴,吴建良,许松,等.不同磷水平日粮中添加植酸酶对肉鸡生长性能和磷利用的影响[J].动物营养学报,1998,10(1):64.

[10] AFSARI M,MOHEBBIFAR A,TORKI M.Effects of phytase supplementation of low phosphorous diets included olive pulp and date pits on productive performance of laying hens,egg quality traits and some blood parameters[J].Annual Review & Research in Biology,2013,3(4):777–793.

[11] 刘宏,刘国华,陈娴.不同植酸磷水平饲粮中添加植酸酶对肉鸭生长性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2010,22(4):1063–1070.

[12] 梁陈冲,陈宝江,于会民,等.不同来源植酸酶对猪生长性能、营养物质表观消化率及肠道微生物区系的影响[J].动物营养学报,2013,25(11):2705–2712.

[13] MADRID J,MARTÍNEZ S,LÓPEZ C,et al.Effect of phytase on nutrient digestibility,mineral utilization and performance in growing pigs[J].Livestock Science,2013,154(1/2/3):144–151.

[14] ZENG Z K,WANG D,PIAO X S,et al.Effects of adding super dose phytase to the phosphorus-deficient diets of young pigs on growth performance,bone quality,minerals and amino acids digestibilities[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(2):237–246.

[15] 杨雨虹,刘行彪,黄可,等.植酸酶对斑点叉尾鮰生长性能、营养物质表观消化率及氮、磷排泄的影响[J].动物营养学报,2011,23(12):2149–2156.

[16] 陈京华,麦康森.不同添加方式植酸酶处理豆粕对牙鲆生长和饲料利用率的影响[J].水生生物学报,2010,34(3):481–488.

[17] 马恒甲,叶金云,郭建林,等.饲料中添加植酸酶对草鱼生长、体组成及各组织磷含量的影响[J].上海海洋大学学报,2011,20(6):845–852.

[18] 徐树德,王树启,游翠红,等.中性植酸酶替代磷酸二氢钙对黑鲷生长和磷利用的影响[J].中国水产科学,2014,21(3):522–530.

[19] CHENG Z J,HARDY R W.Effect of microbial phytase on apparent nutrient digestibility of barley,canola meal,wheat and wheat middlings,measured *in vivo* using rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].Aquaculture Nutrition,2002,8(4):271–277.

[20] 张璐,艾庆辉,麦康森,等.植酸酶和非淀粉多糖酶对鲈鱼生长和消化酶活性的影响[J].水生生物学报,2009,33(1):82–88.

[21] HASSAAN M S,SOLTAN M A,AGOUZ H M,et al.Influences of calcium/phosphorus ratio on supplemental microbial phytase efficiency for Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)[J].The Egyptian Journal of Aquatic Research,2013,39(3):205–213.

[22] VIELMA J,MÄKINEN T,EKHOLM P,et al.Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal

availability of phosphorus load[J].Aquaculture,2000,183(3/4):349–362.

[23] 罗琳,吴秀峰,薛敏,等.中性植酸酶在豆粕型饲料中替代磷酸二氢钙对花鲈生长及磷代谢的影响[J].动物营养学报,2007,19(1):33–39.

[24] 秦巍仑,杨毅,冷向军,等.不同磷酸二氢钙含量饲料中添加植酸酶对建鲤生长、磷利用、体组成和消化酶活性的影响[J].上海海洋大学学报,2015,24(3):383–390.

[25] DEBNATH D,SAHU N P,PAL A K,et al.Mineral status of *Pangasius pangasius* (Hamilton) fingerlings in relation to supplemental phytase:absorption,whole-body and bone mineral content[J].Aquaculture Research,2005,36(4):326–335.

[26] BARUAH K,SAHU N P,PAL A K,et al.Dietary microbial phytase and citric acid synergistically enhances nutrient digestibility and growth performance of *Labeo rohita* (Hamilton) juveniles at sub-optimal protein level[J].Aquaculture Research,2007,38(2):109–120.

[27] VANDENBERG G W,SCOTT S L,DE LA NOÜE J.Factors affecting nutrient digestibility in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed a plant protein-based diet supplemented with microbial phytase[J].Aquaculture Nutrition,2011,18(4):369–379.

[28] ZHU Y,QIU X,DING Q L,et al.Combined effects of dietary phytase and organic acid on growth and phosphorus utilization of juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J].Aquaculture,2014,430:1–8.

[29] ZHU Y,DING Q L,CHAN J,et al.The effects of concurrent supplementation of dietary phytase,citric acid and vitamin D_3 on growth and mineral utilization in juvenile yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco*[J].Aquaculture,2015,436:143–150.

[30] AI Q H,MAI K S,ZhANG W B,et al.Effects of exogenous enzymes (phytase,non-starch polysaccharide enzyme) in diets on growth,feed utilization,nitrogen and phosphorus excretion of Japanese seabass *Lateolabrax japonicus*[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part A:Molecular & Integrative Physiology,2007,147(2):502–508.

[31] YAN W B,REIGH R C,XU Z M.Effects of fungal phytase on utilization of dietary protein and minerals,and dephosphorylation of phytic acid in the alimentary tract of channel catfish *Ictalurus punctatus* fed an all-plant-protein diet[J].Journal of the World Aquaculture

Society,2002,33(1):10–22.

[32] KIM J D,LALL S P.Effects of dietary protein level on growth and utilization of protein and energy by juvenile haddock (*Melanogrammus aeglefinus*)[J].Aquaculture,2001,195(3/4):311–319.

[33] JOVER M,GARCÍA-GÓMEZ A,TOMÁS A,et al.Growth of mediterranean yellowtail (*Seriola dumerilii*) fed extruded diets containing different levels of protein and lipid[J].Aquaculture,1999,179(1/2/3/4):25–33.

[34] 牛纪锋,吴锐全,谢骏,等.饲料中添加植酸酶对大口黑鲈生长及鱼体营养成分的影响[J].饲料工业,2008,29(6):21–23.

[35] 杨健,朱传忠,伍代勇,等.植酸酶和磷酸二氢钙含量对鲤鱼幼鱼生长性能的影响[J].饲料工业,2011(增刊):53–56.

[36] SKONBERG D I,YOGEV L,HARDY R W,et al.Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*)[J].Aquaculture,1997,157(1/2):11–24.

[37] 张璐,麦康森,艾庆辉,等.饲料中添加植酸酶和非淀粉多糖酶对大黄鱼生长和消化酶活性的影响[J].中国海洋大学学报,2006,36(6):923–928.

[38] LIU L W,SU J M,ZHANG T,et al.Apparent digestibility of nutrients in grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) diet supplemented with graded levels of neutral phytase using pretreatment and spraying methods[J].Aquaculture Nutrition,2013,19(1):91–99.

[39] BARUAH K,SAHU N P,PAL A K,et al.Interactions of dietary microbial phytase,citric acid and crude protein level on mineral utilization by Rohu,*Labeo rohita* (Hamilton),Juveniles[J].Journal of the World Aquaculture Society,2007,38(2):238–249.

[40] GENTILE J M,RONEKER K R,CROWE S E,et al.Effectiveness of an experimental consensus phytase in improving dietary phytate-phosphorus utilization by weanling pigs[J].Journal of Animal Science,2003,81(11):2751–2757.

[41] BERNET D,SCHMIDT H,WAHLI T.Effluent from a sewage treatment works causes changes in serum chemistry of brown trout (*Salmo trutta* L.)[J].Ecotoxicology and Environmental Safety,2001,48(2):140–147.

[42] KUMAR V,MAKKAR H P S,DEVAPPA R K,et al.Isolation of phytate from *Jatropha curcas*

kernel meal and effects of isolated phytate on growth,digestive physiology and metabolic changes in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)[J].Food and Chemical Toxicology,2011,49(9):2144–2156.

Effects of Supplementation of Neutral Phytase in Diets with Various Monocalcium Phosphate Contents on Growth, Apparent Digestibility and Deposition Rates of Nutrients and Plasma Biochemical Indices of Allogyogenetics Silver Crucian Carp (*Carassius auratus gibelio*)

ZHANG Xiaoqing[1] XU Shude[2] LI Xiaoqin[1] LENG Xiangjun[1,3,4,5*]

(1. *College of Fisheries and Life Science*, *Shanghai Ocean University*, *Shanghai* 201306, *China* ;2. *Guangdong VTR Bio-Tech Co*., *Ltd*., *Zhuhai* 519060, *China*; 3. *Key Laboratory of Freshwater Fishery Cermplasm Resources*, *Ministry of Aquaculture*, *Shanghai* 201306, *China*; 4. *Shanghai Engineering Research Center of Aquaculture*, *Shanghai* 201306; 5. *Shanghai University Knowledge Service Platform Aquatic Animal Breeding Center* (*ZF*1206), *Shanghai Ocean University*, *Shanghai* 201306, *China*)

Abstract: The present study was conducted to evaluate the effects of supplementation of neutral phytase in diets with various monocalcium phosphate (MCP) contents on growth, apparent digestibility and deposition rates of nutrients and plasma biochemical indices of allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*). Six diets were prepared to fed allogyogenetics silver crucian carp with initial body weight of (39.0±3.0) g for 10 weeks, which were 1.5%, 1.0% and 0.5% MCP diets, and 1.0% MCP+400 IU/kg neutral phytase diet, 1.0% MCP+800 IU/kg neutral phytase diet and 0.5% MCP+400 IU/kg neutral phytase diet, respectively. Each diet had 3 replicates and each replicate had 15 fish. The results showed as follows: when diets no adding neutral phytase, weight gain rate (WGR), the apparent digestibility of dry matter (DM) and phosphorus (P), the deposition rates of protein and ash, and whole body P content were significantly increased (P<0.05), but plasma alkaline phosphatase (ALP) activity was significantly decreased (P<0.05), with the increase of dietary MCP content. Supplementation of 800 IU/kg neutral phytase in the 1.0% MCP diet could significantly improve the WGR (P<0.05) and reached

*Corresponding author, professor, E-mail: xjleng@shou.edu.cn
（责任编辑　菅景颖）

the similar level to the group of 1.5% MCP diet; moreover, it significantly increase the deposition rates of protein and ash and P, the apparent digestibility of DM and P, whole body P content, vertebral calcium (Ca) content and plasma triglycerides (TG) content, but significantly decrease the plasma ALP activity (P<0.05). Supplementation of 400 IU/kg neutral phytase in 0.5% or 1.0% MCP diets could significantly promote P apparent digestibility and P deposition rate (P<0.05).There were no significant differences in plasma total protein (TP), albumin (ALB), P and Ca contents among all groups (P>0.05). Results above show that the supplementation of 800 IU/kg neutral phytase in 1.0% MCP diet can improve the growth and increase the apparent digestibility of DM and P of allogyogenetics silver crucian carp, and 800 IU/kg neutral phytase can be used to replace 0.5% MCP in the diet under sufficient substrates supply.

Key words: neutral phytase; allogyogenetics silver crucian carp (*Carassius auratus gibelio*); phosphorus apparent digestibility; growth